

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ A SMĚRY TECHNICKÉHO VÝVOJE VOZIDEL FORMULE STUDENT

DESIGN SOLUTIONS AND DEVELOPMENT TRENDS OF FORMULA STUDENT CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LADISLAV ADÁMEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL RAMÍK

BRNO 2009

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá historií a vývojem a především současnými trendy soutěže Formula Student/SAE. Větší část práce je věnována komplexnímu shrnutí konstrukčních řešení vozidel a konstrukčních celků nejúspěšnějších týmů této soutěže. Účelem tohoto průzkumu bylo získání informací o konstrukci vozu konkurenčních týmů, které by měly posloužit při stavbě vozu vlastního.

Summary

This bachelor's thesis is engaged in history and description of progress and recent trends in Formula Student/SAE competition. The bigger part of this thesis is devoted to complex summary of structural designs of monoposts and construction units of most successful teams. The point of this survey was getting information about construction of competitor's cars. These informations should be used for building own car.

Klíčová slova

Formula Student/SAE, motor, krouticí moment, chladicí systém, chladič, výfukové potrubí, deformační člen, simulace,

Keywords

Formula Student/SAE, engine, torque, cooling system, radiator, wheel/rim, exhaust manifold, Impact attenuator, simulation,

Bibliografická citace

ADÁMEK, L. *Konstrukční řešení a směry technického vývoje vozidel Formule Student*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Ramík.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Pavla Ramíka a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne

.....
Ladislav Adámek

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Pavlu Ramíkovi za odborné vedení mé práce, užitečné připomínky a cenné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Hejčíkovi za odborné vedení a pomoc při zpracování simulace brzdového systému v programu AMESim.

OBSAH

1 Úvod	9
2 Mezinárodní soutěž vozidel Formule Student/FormuleSAE	10
2.1 Účel mezinárodní soutěže týmů Formule student	10
2.2 Vznik a vývoj soutěže	10
2.2.1 Formule SAE v USA	11
2.2.2 Formule Student v Evropě	11
2.2.3 Studentská formule v ostatních částech světa	12
2.3 Hodnocené disciplíny – přehled, bodové hodnocení	12
2.3.1 Soutěžní třídy	12
2.3.2 Static Events (Statické disciplíny)	13
2.3.3 Bezpečnostní testy	14
2.3.4 Dynamic Events (Dynamické disciplíny)	14
3 Přehled konstrukčních provedení vozidel úspěšných týmů	15
3.1 Konstrukční provedení vozidel	15
3.1.1 Universitat Stuttgart, Německo	15
3.1.2 Delft University of Technology, Holandsko	17
3.1.3 U.A.S. Graz, Rakousko	19
3.1.4 Graz University of Technology, Rakousko	22
3.1.5 Helsinki Polytechnic University, Finsko	24
3.2 Základní technické parametry	27
4 Obvyklá provedení vybraných konstrukčních skupin	28
4.1 Uspořádání chladicí soustavy	28
4.2 Výfuková soustava	31
4.3 Palivová nádrž	34
4.4 Deformační člen	35
4.4.1 Deformační člen s pěnovou náplní	35
4.4.2 Plástvový deformační člen	37
5 Simulace činnosti brzdové soustavy pomocí simulačního systému AMESim	40
5.1 Vstupní hodnoty	40
5.2 Sestavený simulační model	40
5.3 Výsledky simulace	41
6 Závěr	45
7 Seznam použitých zdrojů	47
8 Seznam použitých zkratk a symbolů	49
9 Seznam příloh	50

1. ÚVOD

Formule Student (v anglickém jazyce nazývaná Formula Student) je největší organizací svého druhu v Evropě, která je provozována organizací strojírenských firem (IMechE).

Ve spolupráci s různými známými firmami strojírenského průmyslu, podporuje vzdělání a uplatnění ve strojírenství, formou studentské soutěže vysokých škol. Ta spočívá v návrhu, sestavení a následném závodění s malým závodním vozidlem formulového typu. Účastnícím-se studentům poskytuje praktický přístup k řešení problému návrhu designu, výroby a ekonomické stránky. Studenti jsou vystaveni týmové práci v časovém presu, to vyžaduje totální závazek vůči týmu. Všechny tyto faktory je ale po skončení jejich práce předurčují stát se mladými talentovanými inženýry.

Soutěže Formula Student se účastní týmy všech národností z celého světa. Pro vysoké školy je to cenný projekt, který mísí akademickou práci a rozvoj praktických inženýrských dovedností.

Cílem této bakalářské práce je komplexní shrnutí konstrukčních návrhů jednotlivých úspěšných týmů minulé sezóny, za účelem budoucí stavby vlastního vozu.

2. MEZINÁRODNÍ SOUTĚŽ VOZIDEL FORMULE STUDENT/FORMULA SAE

2.1 Účel mezinárodní soutěže vozidel Formule Student

Soutěž Formula Student® vybízí studenty vysokých škol k návrhu, tvorbě, sestavení a následnému soutěžení s malými závodními vozidly formulového typu. Pro celkovou konstrukci vozidel existuje jen velmi málo omezení, to zajišťuje pro týmy maximální svobodu tvořivosti a flexibility při návrhu designu vozu.

Týmy většinou 8-12 měsíců stráví projektováním, stavěním, testováním svých vozů před začátkem závodů. Na konci tohoto období je vytvořeno vozidlo s velmi dobrými jízdními vlastnostmi určené pro neprofesionálního závodníka. Prototyp vozidla musí splňovat požadavky jakési imaginární firmy. Firma plánuje vyrobit 4 vozy denně v omezené sérii. Navržený prototyp musí být spolehlivý, snadno udržovatelný a levný a nesmí stát více jak \$25,000. Úkolem týmu konstruktérů je tedy navrhnout vozidlo, které by splňovalo všechny výše uvedené požadavky.

Po úspěšném sestavení a naladění vozu následují závody, které dávají šanci všem týmům možnost vyzkoušet si svou tvořivost a inženýrské schopnosti a porovnat je s týmy z dalších vysokých škol z celého světa.

2.2 Vznik a vývoj soutěže

O vznik soutěže se v roce 1981 zasloužila americká společnost Society of Automotive Engineers (SAE). Program byl spuštěn jen v Americe, kde běžel tři roky. V roce 1986 program již budil takový zájem, že automobilky Ford, Chrysler a General Motors se jej rozhodli začít sponzorovat. O rok později již první vůz v disciplíně "osmička" dosahuje přetížení 1g. Po delší době, v roce 1997 se soutěže Formula SAE účastní první evropský tým a hned na to, v roce 1998 se v rámci prezentace na UK Event konající se na testovací základně MIRA, utkali dva americké a dva anglické vozy. Tato akce byla označena za velmi přínosnou, protože poskytuje studentům možnost aplikovat zde doposud nabitě znalosti, rozšířit si obzory a naučit se nové věci, které mnohou pak dále uplatnit ve své budoucím zaměstnání.

Společnost IMechE (Institute of Mechanical Engineers) se rozhodla pořádat ve spolupráci ze SAE Evropskou odnož soutěže pod názvem Formula Student.

V roce 2000 se soutěž Formula SAE pořádala poprvé i v Austrálii. O dva roky později se již programu Formula Student účastnilo 55 týmů z celého světa.

V roce 2005 se do závodů vložila další společnost Learning Grid a ta odsouhlasila spuštění programu pro podporu inženýrských věd a povzbuzení studentů k volbě budoucího zaměstnání v průmyslu. Tento program byl sponzorován společností Motorsport Development UK. V říjnu téhož roku se také v rámci FS uskutečnil první jednodenní seminář s názvem „Learn to Win“. Úvodní řeč na semináři pronesl Ross Brawn, bývalý technický ředitel Scuderia Ferrari, který se v roce 2006 stal patronem Formule Student.

V červnu roku 2007 se hlavní soutěž přesunula na světoznámý okruh v Silverstone. Studenti zde připravovali své vozy ve stejných boxech, ve kterých se o týden později usadily týmy F1.

Poslední novinkou ve Formuli Student je kategorie Class 1(A), která byla schválena v roce 2008 a je sponzorována společností Flybird Systems a

podporovaná EEMS. Bude podporovat vozy s nízkoobjemovými motory produkujícími velmi malé množství CO₂. Zajímavé informace o soutěži Formula Student jsou k nalezení ve zdrojích [15], [16], [17].

2.2.1 Formula SAE v USA

Soutěž Formule SAE vznikla v USA, prodělala bohatý vývoj a rozšířila se téměř do celého světa.

„Inspirací pro vznik Formule SAE byla již od poloviny sedmdesátých let existující soutěž podobného charakteru MiniBAJA, ve které šlo o návrh vozidel do terénu (podobných například speciálům na autokros). Přímým předchůdcem FSAE byla soutěž MiniINDY pořádaná v roce 1979. Tentokrát šlo již o monoposty určené na silnici, respektive okruhy.

Na návrh účastníka prvního ročníku MiniINDY (týmu studentů The University of Texas at Austin) byla pro ročník 1981 značně uvolněna pravidla a zvolen i nový název – Formula SAE (FSAE). Univerzita v Austinu po několika následujících letech FSAE pořádá. V roce 1982 poprvé vznikají různé kategorie FSAE.

V roce 1985 univerzita v Austinu předává pořadatelsví soutěže a s tím jsou spojeny další velké změny pravidel, zavádí se například model hodnocení používaný s nevelkými změnami dodnes. Jeho součástí je nově hodnocení nákladů na stavbu a výrobu monopostu a zprávy o těchto nákladech (Její hodnocení je dnes druhou nejdůležitější složkou statického hodnocení). Rok 1986 znamená přesun FSAE do Michiganu, k velké trojce (GM, Ford, Chrysler) a FSAE tak získala pozornost automobilek a dovozců.

O pět let později, v roce 1991, získává FSAE výraznou podporu General Motors, koná se v jejích prostorách a dále se prohlubují její vazby s automobilovým průmyslem. V následujících letech se FSAE přesouvá k dalším členům Velké Trojky – Fordu a poté Chrysleru. Oba nabízí účastníkům rozsáhlou technickou podporu a také diskuse (a rady) s osobnostmi jako jsou Jackie Stewart a Carroll Shelby.

Rok 1997 přinesl prvního evropského účastníka, tým z Velké Británie. Hned následujícího roku se poprvé koná Formula Student (FS) v Anglii. S postupem času roste počet mimoamerických účastníků, například v roce 2001 se Formule SAE účastní týmy z Mexika, Japonska, Jižní Koreje, Portorika, Velké Británie, Kanady a samozřejmě ze Spojených Států. Stejně tak roste i počet závěrečných Eventů.

V současnosti se pořádá každý rok 8 závěrečných Eventů, kterých se účastní přes 270 týmů z celého světa.“ (převzato z [1])

2.2.2 Formula Student v Evropě

V Evropě se Formula Student dělí na několik kategorií.

- Formula Student (FS)
- Formula Student Germany (FSG)
- Formula SAE Italy

Formula Student (FS)

„Se koná ve Velké Británii. Zásadním rozdílem FS od FSAE a jejích dalších mutací je fakt, že je možné se ve zvláštní kategorii účastnit FS s „pouhým“ projektem monopostu. Práce na realizaci vozu tak lze rozložit do delšího období, navíc tato

kategorie znamená eliminaci nákladů na výrobu vozu (nicméně návrh bude i tak posuzován i z cenového hlediska).“ (převzato z [1])

Formula Student Germany (FSG)

„Se pořádá v Německu pod záštitou VDI, respektive její odnože zaměřené na dopravu VDI-FVT od roku 2006. Závěrečný event (tedy kompletní a komplexní hodnocení od posouzení obsahu a kvality dodaných dokumentů, přes prezentaci návrhu vozu fiktivnímu vedení fiktivního zadavatele zakázky na jeho vývoj, technickou přejímku, jízdní zkoušky a diskuse porotců s účastníky až k závěrečnému slavnostnímu vyhlášení výsledků) se koná v srpnu na okruhu Hockenheimring a trvá pět dní. Specifikem FSG je rozsáhlý německý automobilový průmysl (jmenujme namátkou značky Audi, BMW, Mercedes-Benz, Volkswagen, ale i dodavatele automobilového průmyslu jako jsou Bosch, ZF aj.), jehož blízkost je pro FSG oboustranně přínosná, ze stejné výhody ostatně těžila originální FSAE v Michiganu. Zástupci automobilového průmyslu zde mají možnost vyhledávat (a skutečně vyhledávají) perspektivní nové zaměstnance z řad účastníků, kteří zde naopak získávají cenné kontakty a třeba i budoucí zaměstnání.“(převzato z [1])

Formula SAE Italy

„Je organizována v Itálii společností Fisita ve spolupráci se SAE. Přestože je používána původní zkratka FSAE je i zde možno startovat s projektem monopostu, nebo celým monopostem. Event se koná na okruhu Riccardo Palleti a jako hodnotitelé projektů jsou zde technický ředitel Lamborghini, šéfkonstruktor podvozku týmu F1 Ferrari, vedoucí vývoje motorů Fiat, vedoucí vývoje Dallara a mnoho dalších.“ (převzato z [1])

2.2.3 Formula Student v ostatních částech světa

V současnosti, mimo soutěží v Evropě a Americe, existují ve světě ještě další 4 soutěže. A to: Formula SAE Australasia pro Austrálii a Oceánii, Formula FISITA pro Spojené království, Formula Japan pro Japonsko a Formula SAE Brasil pro Brazílii.

2.3 Hodnocené disciplíny – přehled, bodové hodnocení

2.3.1 Soutěžní třídy

Ve Formuli Student, mohou týmy závodit v 5 různých třídách:

- Třída 1
- Třída 1(200)
- Třída 1A
- Třída 2
- Třída 3

Třída 1

Je to nejprestižnější soutěžní třída Formule Student. Týmy vyrábí vůz od úplného počátku a účastní se všech vypsaných disciplín. Vůz musí projít všemi předepsanými testy.

Třída 1 (200)

V této třídě týmy nevyrábějí vůz od počátku, ale jen upravují svůj vůz vyrobený v předchozí sezóně. Takto soutěžící týmy se pak neúčastní Statické disciplíny Cost Exercise (náklady na výrobu).

Třída 1A

Zde mohou soutěžit týmy s vozy s nízko objemovými motory, produkujícími velmi malé množství CO₂. Nebo s vozy, jež jsou poháněny alternativními pohony.

Třída 2

Tato třída je pro týmy, kterým se nepovedlo postavit nebo kompletně vyladit celý vůz. Tyto týmy se pak mohou účastnit jen Statických disciplín. Třída je kompromisem mezi třídou 1 a 3.

Třída 3

Hlavní cíl této třídy je v oblasti designu. Je zamýšlena jako třída pro nové týmy, kde pro účast v soutěži není zapotřebí mít vyrobenou ani jednu funkční součást.

Ve Formuli Student je bezesporu nejprestižnější třídou, třída 1. A proto je další popis zaměřen především na tuto třídu. Soutěží se zde v 7 disciplínách, každá disciplína má své bodové ohodnocení a svého vítěze. Body dosažené týmy v jednotlivých disciplínách se na konci sčítají. Maximální součet bodů ze všech jednotlivých disciplín činí 1000bodů.

Disciplíny jsou dále děleny do 2 samostatných skupin, Static Events (statické disciplíny) a Dynamic Events (dynamické disciplíny). Každý tým pak musí splnit sérii bezpečnostních testů, která umožňuje postoupit do fáze dynamických disciplín.

2.3.2 Static Events (Statické disciplíny)

Skládají se ze 3 částí a to jsou:

- Design competition (soutěž v designu)
- Cost exercise (náklady na výrobu)
- Presentation competition (prezentace vozu)

Za tyto disciplíny mohou týmy získat maximálně 325bodů.

Design competition – 150b

V této části soutěže musí studenti vysvětlit porotcům – (kteří zastupují stranu investorů), jak jejich vůz vyhovuje potřebám cíleného trhu. Porota následně hodnotí technickou kvalitu vozu, tedy nejen jeho vzhled, ale i řadu konstrukčních řešení, která byla při výrobě vozu použita.

Vítězný tým poté bude ukázkou nejlepšího využití inženýrství pro splnění požadavků trhu na design vozu. Tento tým pak může dosáhnout až hranice 150bodů.

Cost exercise – 100b

Týmy zde musí doložit úplnou kalkulaci všech nákladů, které byly použity při výrobě jejich vozu a přesvědčit porotu o správnosti jejich použití. Porotci (investoři) pak shledají, zda by pro ně byla či nebyla výroba vozu dobrou obchodní příležitostí.

Významný faktor pak při jejich rozhodování hraje cena. Ta by měla být u každého vozu co nejmenší, protože vyrobené vozy jsou určeny pro neprofesionální závodníky, jejichž finanční prostředky jsou omezené.

Vítězný tým pak v této disciplíně může dosáhnout bodového ohodnocení až 100bodů.

Presentation competition – 75b

Toto je poslední ze statických disciplín, kde se týmy snaží porotcům (investorům) prodat svůj koncept vozu. Porotci zde velmi vysoce hodnotí týmy, které prokážou výbornou týmovou práci, komunikaci, a schopnost prodat své nápady.

Za tuto část může pak vítězný tým získat až 75bodů.

2.3.2 Bezpečnostní testy

Tyto testy dbají především na bezpečnost závodníků a jsou prováděny bezpečnostními inspektory. Nemají žádné bodové ohodnocení, ale bez jejich splnění týmy nemohou dále pokračovat v soutěži. Dělíme je na 3 zkoušky.

- Technical & Safety Scrutineering (technika a bezpečnost)
- Tilt Test (Náklonová zkouška)
- Brake & Noise Test (Zkouška brzd a hluku)

Technical & Safety Scrutineering

V této části inspektoři důkladně prohledají každý vůz a pokud je zde nalezeno něco co by mohlo ohrozit bezpečnost jezdce, nepustí tým do závodních disciplín.

Tilt Test

Vůz je zde umístěn na speciální naklápěcí rampu a je na kloněn pod úhlem 45 stupňů. Vůz se nesmí překloupit a ani z něj nesmí vytékat žádné kapaliny.

Brake & Noise Test

Vůz nesmí překračovat povolené zvukové limity a musí být schopen zablokovat najednou všechny 4 kola.

2.3.3 Dynamic Events (Dynamické, jízdní disciplíny)

Zde týmy musí absolvovat 4 odlišné jízdní testy, které se nacházejí v různých lokacích daného závodního okruhu. Tyto testy mají prověřit výkonnost a jízdní vlastnosti vozu.

Testy dělíme na:

- Skid Pan (osmička)
- Sprint
- Acceleration test (zrychlení)
- Endurance & Fuel Economy (výdrž a spotřeba)

Skid Pan – 50b

Tato disciplína testuje obratnost pilota, vozu a jeho přítlak v zatáčce. Z následující rovnice se pak vypočítá skóre každého z týmů:

$$\text{Ski pad score} = 71,5 \times \frac{\left(\frac{6,184}{T_{\text{tvuj}}}\right)^2 - 1}{\left(\frac{6,184}{T_{\text{min}}}\right)^2 - 1} + 3,5 \quad , \quad \text{kde } T_{\text{tvuj}} - \text{čas zajety tvým týmem}$$

$T_{\text{min}} - \text{nejrychlejší čas}$

Vítězný tým za ni může obdržet až 50bodů.

Sprint – 150b

V této disciplíně odjede pilot se svým vozem jedno kolo s letným startem (nestartuje se z nuly) na předem stanoveném okruhu. Počítá se výsledný čas. Výsledek této disciplíny je velmi závislý na pilotovi a jeho schopnostech. Maximální počet bodů, které zde tým může dosáhnout je 150.

Acceleration test – 75b

V tomto testu na jezdce čeká rovná trat o délce 75m, na které se měří čas vozu od startu z 0 km/h do protnutí cílové pásky. Vítěz může v této disciplíně získat až 75bodů.

Endurance & Fuel Economy – 350b+50b

Tento test se provádí na stejném okruhu na kterém se jel sprint. Pilot s vozem odjede něco kolem 20 kol. V polovině se piloti vymění. Na konci závodu se počítá jednak rychlost, tedy výsledný čas, ale i spotřeba paliva.

Pokud spotřeba paliva přesáhne 26 litrů na 100 kilometrů, tým je automaticky ohodnocen 0 body. Naopak vítěz zde může dosáhnout až 400bodů. Užitečné podklady ke kapitole 2.3 jsou k nalezení na [17].

3. PŘEHLED KONSTRUKČNÍCH PROVEDENÍ VOZIDEL ÚSPĚŠNÝCH TÝMŮ

V této části se zaměříme na ukázkou konstrukčního provedení jednotlivých vozidel týmů patřících v poslední sezóně ke špičce soutěže Formula Student a jejich přehled.

3.1 Provedení jednotlivých vozidel

3.1.1 Universitat Stuttgart, Německo RennTeam Stuttgart

Tento tým z Německého Stuttgartu byl nejúspěšnějším týmem sezóny 2008. Zvítězil v závodech Formula SAE Australasia, Formula Student, Formula SAE Italy a Formula FISITA. Jejich vůz nese označení F0711-3.

VŮZ F0711-3

Základem celého vozu je svařovaný trubkový rám o hmotnosti 28 kilogramů. Spodní část rámu je vyroben z kompozitního materiálu CFK sandwichové konstrukce.

Tento vůz je osazen 4 – válcovým motorem Honda o objemu 600 kubických centimetrů a výkonu 94 koní. Zdvih pístu je 42,5mm a vrtání je 67mm. Maximální výkon tohoto vozu se dostavuje při 10 300 ot/min a maximální kroutící moment, který činí 64 Nm již při 10 100 ot/min. Z 0 na 100 km/h se dokáže rozjet za 3,7s. Maximální rychlost záleží na konkrétním zpřevodování vozu. Motor původně pochází s motocyklu Honda CBR 600 RR Rv. 2005.



Obr.3.1.1 Vůz F0711-3 týmu RennTeam Stuttgart, přední pohled [2].

Výkon z motoru, je přenášen na zadní nápravu pomocí řetězového převodu a dále přes samosvorný diferenciál na 13ti palcová kola, která obouvají závodní pneumatiky značky Hoosier. Všechny kola, jsou vybaveny kotoučovými brzdami s plovoucími třmeny.

Chlazení motoru je realizováno pomocí jednoho chladiče vlastní výroby, který je umístěn na levé straně vozu (obr 3.1.2) a řízen pomocí elektronické řídicí jednotky.

Výfukový trakt je sveden do jednoho uzlu a poté veden podél pravé strany vozu až do tlumiče, který ústí taktéž na levé straně vozu (obr 3.1.2).

Veškerá elektronika na voze je navržena studenty Universitat Stuttgart. To obsahuje elektronické řazení, které je realizováno pádly pod volantem. Dále pak display v kokpitu vozu a elektropneumatický řadící systém.

Palivový systém vozu se skládá s elektronické řídicí jednotky MoTeC M400 a palivového vstřikování které, je opět navrženo studenty. Vůz jezdí na 100 oktanový bezolovnatý benzín.

Vůz váží 209 kilogramů.



Obr.3.1.2 Vůz F0711-3 Týmu RennTeam Stuttgart, pohled na defo člen chladič a vyústění výfukové soustavy [2].

Tento vůz nedisponuje ani zdaleka veškerou nejmodernější technikou a ani na první pohled nezaujme osobitým designem. Ve voze je vše podřízeno funkčnosti. Užitečné informace o parametrech vozu jsou k nalezení na [2], [18].

3.1.2 Delft University of Technology, Holandsko DUT Racing Team

Tým z Holandského Delftu disponuje velmi specifickým vozem. Od roku 2006 patří tento tým mezi evropskou špičku. V minulé sezóně dostal hned několik ocenění. Stal se vítězem Formula Student Germany a skončil na celkovém druhém místě v soutěži Formula Student. Tento již v pořadí 8 vůz nese označení DUT08.

VŮZ DUT08

Základ celého vozu tvoří 2-dílný plnomonokokový rám který je slepen dohromady. Částí rámu je karbonová obruč pro uchycení závěsu kol.

Vůz je osazen 1 – válcovým motorem značky Yamaha o objemu 500 kubických centimetrů. Zdvih činí 63.4mm a vrtání je 95mm. Maximální výkon motoru je 55 koní, který se dostavuje při 9000 ot/min a maximální kroutící moment se pohybuje o kolo 45 Nm při 6500 ot/min. Zrychlení vozu z 0 na 100km/h není

vedeno. Maximální rychlost záleží na zpřevodování vozu. Motor původně pochází



Obr.3.1.3 Vůz DUT08 týmu DUT Racing Team , pohled z boku [3].

z motocyklu Yamaha WR450F Rv. 2007.

Výkon motoru je u tohoto vozu přenášen na zadní nápravu řetězovým převodem. Vůz je vybaven samosvorným diferenciálem, který rozděluje dodávaný výkon na obě 9 – ti palcová kola která obouvají závodní pneumatiky značky Hoosier nesoucí označení 18.0 x 6.0-10 LC0.

Brzdový systém tohoto vozu obsahuje 4 celoplošné kotoučové brzdy které jsou přes unášec připevněny k poloosám.

Chlazení jednoválcového motoru obstarává jeden chladič s elektrickým větrákem, který byl navržen studenty Delft University of Technology. Chladič je umístěn na pravé straně vozu hned vedle řidiče (Obr.3.1.4).

Výfukový trakt je veden středem vozu do tlumiče, který je umístěn hned vedle rozety a kousek za ní vyúsťuje (Obr.3.1.4) a (Obr.3.1.5).

Studenti Delft University of Technology sami vyvinuli elektronický sběr dat a „engine management system“, který umožňuje elektronické řízení motoru. A také LCD display jenž je umístěn v kokpitu jezdce a předává mu důležité informace po dobu závodu.

Palivový systém tohoto vozu byl kompletně navržen zkonstruován a sestaven studenty Delft University of Technology. Skládá se z dvojitého injektoru paliva se sekvenčním vstřikováním, který je založen na „open source“ systému VEMS.

Vůz spaluje palivo s označením E-85 bio – ethanol. Díky tomu dosahuje velmi nízkých emisí CO₂ a velmi dobré spotřeby paliva. Není to první vůz s pohonem na tento druh paliva, ale týmu DUT Racing Team, se povedlo jako prvním úspěšně a efektivně tento druh paliva využít. Jejich vůz s ním dosahuje zdaleka nejlepších výsledků.

Vůz váží celkově 158kilogramů.



Obr.3.1.4 Vůz DUT08 týmu DUT Racing Team, pohled na umístění výfukového traktu a chladiče [3].



Obr.3.1.5 Vůz DUT08 týmu DUT Racing Team, pohled na umístění výfukového traktu [3].

Vůz tohoto týmu je postaven jednoduše a účelně tak aby plnil jediný cíl, být jedním z nejrychlejších vozů na trati. Parametry vozu a další informace jsou dostupné na [3], [18].

3.1.3 U.A.S. Graz, Rakousko Joanneum Racing Graz

Tým z Rakouského Grazu je jeden z mála týmů Formule Student, který používá pro pohon svého vozu přeplňovaný 1 - válec. Se svým vozem v minulých sezónách získali mnoho ocenění. V sezóně 2006 vyhráli soutěž Formula SAE Italy. V roce 2007 se umístili na 3 pozici v soutěži Formula Student Germany a v sezóně 2008 se umístili na 3.místě v soutěži Formula Student.

Jejich vůz nese označení JR08.

VŮZ JR08

Základem pro tento vůz je ocelový trubkový rám kombinovaný s karbonovými prvky s hliníkovou výztuží.

Tento vůz je vybaven 1 – válcovým motorem ROTAX o objem 450 kubických centimetrů, který je přeplňován kompresorem. Zdvih činí 60.8mm a vrtání je 97mm.

Motor dosahuje maximálního výkonu 83.5 koní při 8500 ot/min a dává maximální kroutící moment 72.7 Nm při 8000 ot/min. Zrychlení vozu z 0 na 100 km/h nebylo uvedeno. Přepřínování zajišťuje kompresor typu Eaton roots.



Obr.3.1.6 Vůz JR08 týmu Joanneum Racing Graz, pohled z boku [4].

Výkon je z motoru tohoto vozu přenášěn na zadní nápravu pomocí řetězového převodu. Do vozu byl namontován samosvorný diferenciál DREXLER, který dodává přenášený výkon na obě poloosy.

13-ti palcová kola tohoto vozu jsou vyrobena z kompozitního materiálu CFRP a obouvají pneumatiky značky Good Year 7x13.

O brzdou sílu vozu se starají 4 laserem řezané kotoučové brzdy, které byly navrženy a vyrobeny studenty U.A.S Graz. Brzdná soustava má nastavitelný poměr rozdělení brzdné síly mezi nápravami.

Chlazení je realizováno pomocí jednoho olejového a jednoho vodního chladiče. Oba jsou umístěny na levé straně vozu. Místo na pravé straně pak zaujímá mezichladič (Obr.3.1.7).

Výfukový trakt je veden z motoru mírně vpravo od středové linie vozu dále pokračuje do tlumiče, který je umístěn rovnoběžně se zadními poloosami (Obr.3.1.8).

Vůz řadí pomocí elektropneumatického řadicího systému navrženého studenty a 5-ti rychlostní sekvenční převodovky. Studenti dále navrhli a vyrobili svůj okruh nabíjení prototypu baterie lithium – ion pomocí alternátoru vlastní konstrukce.

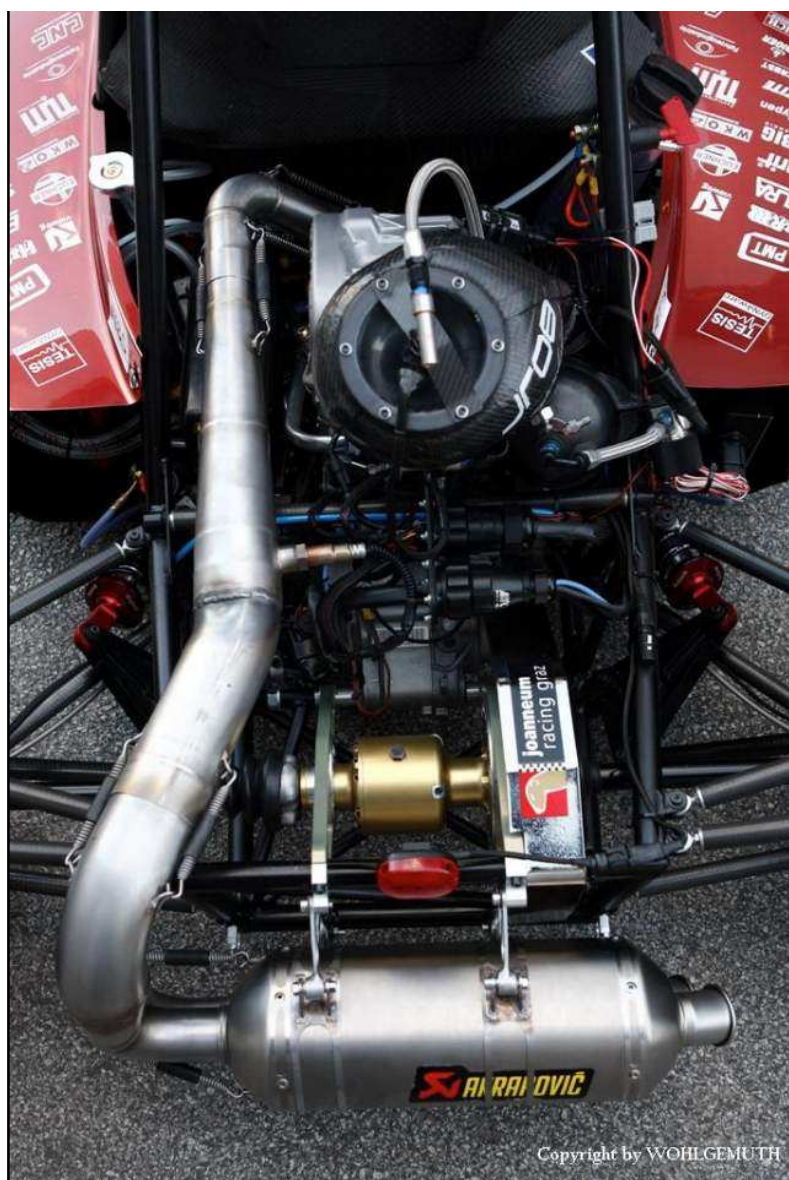
Palivový systém je řízen elektronickou řídicí jednotkou MoTeC M800 a o vstřikování paliva se stará vstřikovací systém, který byl navržen studenty. Vůz spaluje palivo s označením E-85 bio – ethanol.

Celková váha vozu je 180 kilogramů.

Kapota vozu je kompletně vyrobena z kompozitního materiálu CFRP.



Obr.3.1.7 Vůz Jr08 týmu Joanneum Racing Graz, pohled ze předu na hladiče a mezichladič [4].



Obr.3.1. 8 Vůz Jr08 týmu Joanneum Racing Graz, pohled z vrchu na výfukový trakt [4].

Vůz týmu Joanneum Racing Graz je vybaven nejmodernějšími technologiemi, avšak to může být problém při konečné cenové bilanci vozu. Design tohoto vozu je osobitý a zaujme člověka na první pohled. Informace o vozu jsou k nalezení na [4], [18].

3.1.4 Graz University of Technology, Rakousko TUG Racing

Tento tým z Rakouského Grazu vlastní jeden z technologicky nejvyspělejších vozů soutěže Formule Student. V realizačním týmu se nachází něco kolem 40 lidí z různých technických oborů, kteří mají jeden cíl. Každý rok připravit nové a o něco lepší auto na novou sezónu.

V sezóně 2008 se účastnili 4 soutěží a z toho 3 krát skončili v první desítce týmů. Na soutěži Formula SAE Italy se umístili na 3 pozici. Na soutěži Formula SAE na 6 pozici a v soutěži Formula Student Germany na 3 pozici.

Vůz týmu TUG Racing nese označení TANKIA2008.

VŮZ TANKIA2008

Základ tohoto vozu tvoří dvoudílný monokokový rám z uhlíkových vláken, s nomexovým pěnovým jádrem.

Vůz je osazen 4 – válcovým motorem značky Yamaha o objemu 600 kubických centimetrů. Zdvih činí 42,5mm a vrtání je 67mm. Motor dosahuje svého maximálního výkonu 96,5 koní při 10 500 ot/min a maximální krouticí moment 67Nm se dostaví již při 8500 ot/min. Motor původně pochází z motocyklu Yamaha R6 Rv. 2007.



Obr.3.1.9 Vůz TANKIA 2008 týmu TUG Racing, pohled z boku [5]

O co nejlepší přenos výkonu motoru na kola se stará deskový samosvorný diferenciál, který je umístěn na zadní nápravě, na kterou je přenášen výkon z motoru pomocí řetězového převodu.

Kola z uhlíkových vláken o velikosti 13 palců jsou vlastní výroby a obouvají pneumatiky Good Year.

Brzdný systém vozu se skládá ze 4 kotoučových brzd, které byly vyvinuty studenty Graz University of Technology a elektronickým systémem, který je schopen měnit poměr rozložení brzdné síly mezi nápravami pomocí pákového převodu.

Motor je chlazen dvojicí chladičů s větráky připevněných na obou stranách vozu ovládaných řídicí jednotkou a termostatem.

Výfukové potrubí je svedeno do uzlu na pravou stranu vozu odkud je šikmo vzhůru vedeno do tlumiče, který vyúsťuje poblíž středové linie vozidla (Obr.3.1.10).



Obr.3.1.10 Vůz TANKIA 2008 týmu TUG Racing, pohled ze zadu na výfukové potrubí [5].

Vůz je vybaven 3-stupňovou sekvenční elektronicky ovladatelnou převodovkou, multifunkčním volantem, na jehož výrobě se podíleli studenti a elektronicky ovladatelnou spojkou.

Palivový systém byl navržen a postaven studenty a je řízen elektronickou řídicí jednotkou vstřikování paliva. Vůz jezdí na 98 oktanový bezolovnatý benzín. Jeho celková váha je 170kilogramů.



Obr.3.1.11 Vůz TANKIA 2008 týmu TUG Racing, spolu s monopostem F1 [5].



Obr.3.1.12 Vůz TANKIA 2008 týmu TUG Racing, pohled na bok a zadní část vozu [5].

Tento vůz má moderní osobitý design a je vybaven těmi nejmodernějšími technologiemi. Ale i přes tato fakta není nejrychlejším a nejhbitějším vozem na trati. Informace o voze a jeho parametry jsou dostupné na [5], [18].

3.1.5 Helsinki Polytechnic University, Finsko Metropolia Motorsport

Tento tým z Finských Helsinek se již delší dobu stabilně umísťuje na špičce seriálu soutěží Formula Student/SAE. V sezóně 2006 se tým Metropolia Motorsport v soutěži Formula Student Germany umístil na 2 pozici, v soutěži Formula Student pak na pozici 5. V sezóně 2007 obsadil 4 pozici v soutěži Formula Student Germany a v sezóně 2008 pak 5 pozici v soutěži Formula Student.

Jejich vůz je po technické i designové stránce velmi vyspělý. Každoročně vyhrávají aspoň na jedné ze soutěží cenu za nejlepší design vozu.

Označení vozu týmu Metropolia Motorsport je HPF008

VŮZ HPF008

Základem tohoto vozu je trubkový svařovaný rám z oceli jenž je pokryt kapotou z kompozitního materiálu CFRP.

Vůz je osazen 4 – válcovým motorem značky Yamaha o objemu 600 kubických centimetrů. Zdvih činí 42,5mm a vrtání je 67mm. Maximální kroutící moment motoru 68Nm nastupuje již v 8500 ot/min a maximální výkon motoru činí 93 koní při 10 500 ot/min. Vůz zrychlí z 0 na 100km/h za méně než 4 vteřiny a je schopen jet rychlostí větší než 160km/h. Motor tohoto vozu původně pochází z motocyklu značky Yamaha R6 Rv.2007.



Obr.3.1.13 Vůz HPF008 týmu Metropolia Racing, pohled na boční část vozu [6].

Přenos výkonu na kola obstarává třecí diferenciál s nastavitelnými úhly stoupání. Je umístěn na zadní nápravě vozu, kterou pohání motor přes řetězový převod.

O přenos výkonu motoru na vozovku se starají čtyři 13 palcová kola z hořčíkové slitiny značky BBS, která jsou opatřena systémem rychlého upínání pomocí jednoho šroubu „single bolt fastening“. Tyto kola obouvají pneumatiky značky Good Year.

Vůz je osazen čtyřmi laserem řezanými kotouči, na kterých jsou, vpředu nasazeny 4 pístkové třmeny Brembo a vzadu se o brzdění starají třmeny 2 pístkové stejné značky. Brzdňý systém má rovněž možnost elektronické změny poměru brzdné síly mezi nápravami.

Chlazení je realizováno pomocí dvojice chladičů s větráky, nacházejících se po obou stranách vozu, řízených řídicí jednotkou a termostatem.

Výfukový trakt je sveden z motoru do uzlu a vyveden levou stranou kousek od středové linie vozu (Obr.3.1.14).

Vůz je vybaven multifunkčním volantem, elektropneumatickým systémem řazení, navrženým studenty university, 4 – stupňovou sekvenční převodovkou a elektronicky řízenou spojkou. Ve voze je také nainstalována řídicí jednotka motoru s integrovaným systémem kontroly trakce a zapínání motoru. Kokpit řidiče je vybaven bluetooth telemetrickou jednotkou.

Palivový systém je řízen řídicí jednotkou Tatech6 a sekvenční vstřikovací systém paliva byl vyvinut studenty Helsinki Polytechnic University. Vůz jezdí na 98 oktanový benzín. Celková váha vozu činí 199kilogramů.



Obr.3.1.14 Vůz HPF008 týmu Metropolia Racing, pohled na vůz uprostřed závodu [6].



Obr.3.1.15 Vůz HPF008 týmu Metropolia Racing, pohled na zadní část vozu s výfukovým traktem [6].

Vůz Finského týmu Metropolia Racing je jeden z designově nejpovedenějších vozů současné Formule Student/SAE a ukazuje jednu z cest, kterou by se design vozů v této soutěži mohl v budoucnu ubírat. Parametry vozu a informace o týmu jsou k nalezení na [6], [18].



Obr.3.1.16 Fotografie nejúspěšnějšího týmu v rámci soutěže Formula Student/SAE, tým RennTeam Stuttgart [2].

3.2 Základní technické parametry

V této tabulce je možné vidět základní rozměrové parametry vozů všech 5ti týmů. Tato tabulka obsahuje jen základní údaje a její rozšířenou verzi je možné najít v příloze č.1

Poř.	UNIVERSITA	ZÁKLADNÍ ROZMĚRY (mm)				ROZCHOD(mm)	
		délka	výška	šířka	rozvor	přední	zadní
1.	Universitat Stuttgart	2667	1003	1 422	1 650	1 214	1 172
2.	Delft University of Technology	2455	1118	1375	1540	1200	1200
3.	U.A.S. Graz	2705	1015	1395	1650	1200	1140
4.	Graz University of Technology	2752	950	1364	1575	1200	1180
5.	Helsinki Polytechnic	2615	940	1450	1650	1245	1230

4. OBVYKLÁ PROVEDENÍ VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH SKUPIN

Tato kapitola je zaměřena na různá technická řešení některých konstrukčních skupin, které by mohli být přínosné, zvláště při konstrukci vlastního vozu.

4.1 Uspořádání chladicí soustavy

Chladicí systém obecně slouží k chlazení motoru a případně dalších částí vozu. Jeho poloha má vliv na celou řadu věcí, jako je třeba aerodynamika vozu, nebo jeho konečný vzhled, popřípadě může mít i vliv na celkové rozložení hmotnosti vozu. Většina současných týmů se rozhoduje jen mezi dvěma variantami.

- Umístění chladičů na levé / pravé straně vozu
- Umístění chladičů po obou stranách vozu

Obě tyto řešení mají své výhody i nevýhody.

Umístění chladičů na levé/pravé straně vozu

Chladič je umístěn pouze na jedné straně vozu Obr 4.1.1. Většinou bývá uchycen v úrovni sedadla řidiče.



Obr.4.1.1 Vůz Jr08 týmu Joanneum Racing Graz, umístění chladiče na levé straně vozu.

Chladič může být různě natočen. Ve většině případů týmy používají chladiče, které jsou natočené směrem od vozu -viz Obr.4.1.2



Obr.4.1.2 Vůz HPF008 týmu Metropolia Racing, natočení chladiče směrem od vozu [6].

Další variantou je sklopení chladiče. Tato varianta se vyskytuje méně avšak má své opodstatnění. Takto sklopené chladiče bývají sklopeny směrem k vozovce Obr.4.1.3.



Obr.4.1.3 Vůz F0711-3 týmu RennTeam Stuttgart, chladič sklopený směrem k vozovce [2].

Varianta umístění chladiče na jedné straně je výhodná z hlediska úspory váhy vozu, ale má menší chladicí potenciál a může přispívat k celkově horšímu rozložení

hmotnosti vozu.

Umístění chladičů na obou stranách vozu

Chladiče jsou umístěny na obou stranách vozu ve stejné poloze (Obr.4.1.3.) Stejně jako v předchozím případě mohou být různě sklopené či natočené. Mají větší chladicí potenciál a jsou příznivější pro celkově lepší rozložení váhy vozu. Jejich nevýhodou je že zabírají více místa a jsou těžší.



Obr.4.1.4 Vůz TANKIA 2008 týmu TUG Racing, umístění chladičů po obou stranách vozu [5].

Kromě výše uvedených variant také existují i jiné možnosti umístění chladičů. Na Obr.4.1.4 je možno vidět jednu z nekonvenčních variant.



Obr 4.1.5 Jedna z mnoha originálních variant umístění chladičů

4.2 Výfuková soustava

Výfukový soustava zabraňuje pronikání spalin a škodlivých plynů do vozu a má hlavní podíl na jejich redukci při vypouštění do ovzduší. Má vliv na celkový výkon motoru a pomocí výfukových tlumičů můžeme také regulovat zvukový projev vozu.

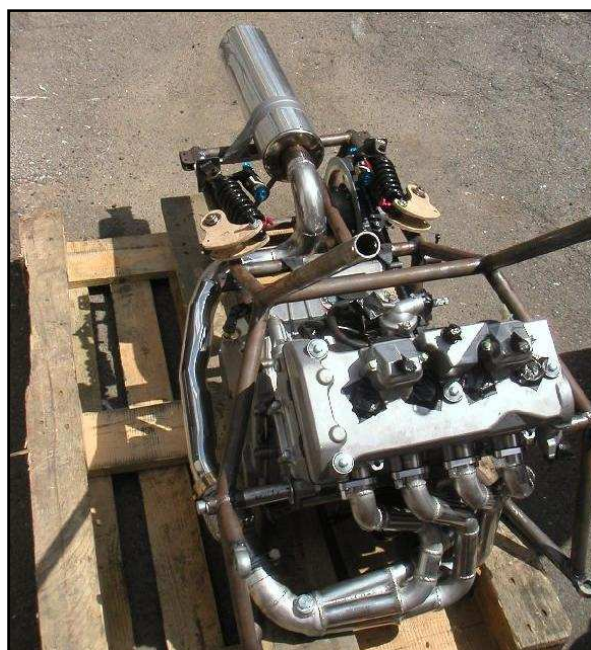
Řešení umístění a svedení výfukového traktu je nespočet, proto se následující části zabývají konstrukčními řešeními, která mohou být přínosná z hlediska budoucí konstrukce vlastního vozu.

Varianta č.1

Jak lze vidět z Obr.4.2.1 spaliny z 4–válcového motoru jsou vedeny svody do uzlu, ze kterého pak pokračují do katalyzátoru a výfukovým traktem, který je veden kolem pravé strany motoru a hned za ním se ubírá ke středové linii vozu až do tlumiče.



Obr 4.2.1 Pohled na svody 4 – válcového motoru, umístění varianta č.1



Obr 4.2.2 Pohled na celkové provedení varianty č.1

Tlumič je pak následně vyveden koncovkou, která ústí v středové linii vozu. Pohled na celkové řešení varianty č.1 můžeme vidět na Obr.4.2.2.

Varianta č.2

U této varianty je výfukový trakt rozdělen na 2 samostatné část. Jak je možno pozorovat z Obr.4.2.3 svody jsou vedeny kolem obou stran motoru kde přechází do 2 samostatných uzlů, které ústí do tlumičů.



Obr 4.2.3 Pohled na svody 4 – válcového motoru, umístění varianta č.2 [7].

Tlumiče jsou poté oba dva rovnoběžně vyvedeny koncovkami, které ústí poblíž obou bočních linií vozu. Na Obr.4.2.4 je možné vidět umístění jednoho z tlumičů vozu a na Obr.4.2.5 je následně jeho uchycení



Obr 4.2.4 Pohled na provedení umístění tlumiče ve variantě č.2 [7].



Obr 4.2.5 Pohled na provedení uchycení tlumiče ve variantě č.2 [7].

Varianta č.3

U této varianty je výfukový trakt veden z motoru svody do společného uzlu, který je umístěn pod motorem Obr.4.2.6.



Obr 4.2.6 Pohled na vyvedení výfukového traktu do tlumiče, varianta č.3 [1].

Z uzlu jsou spaliny vedeny přes katalyzátor výfukovým potrubím do tlumiče, který je umístěn na pravé straně vozu vedle řidiče, jak je možné vidět z Obr.4.2.7.



Obr 4.2.7 Pohled na umístění tlumiče, varianta č.3 [1].

Varianta č.4

Poslední varianta nabízí vést svody o téměř stejné délce do jednoho uzlu, který je umístěn za motorem, jak lze vidět na Obr.4.2.8.



Obr 4.2.8 Pohled na svody, varianta č.4 [6].

Z tohoto uzlu je pak výfukový trakt sveden na levou stranu vozu do tlumiče který se nachází poblíž boční linie vozu za jezdcem Obr.4.2.8



Obr 4.2.9 Pohled umístění tlumiče, varianta č.4 [6].

Všechny výše uvedené varianty umístění a vedení výfukové soustavy musí splňovat požadavky, jež jsou stanoveny pravidly soutěže Formula Student.

4.3 Palivová nádrž

Palivová nádrž každého týmu musí splňovat podmínky, které jsou stanoveny pravidly soutěže Formula Student. Velikost palivové nádrže omezena není, to znamená, že každý tým si velikost palivové nádrže volí podle vlastní potřeby.

Všechny palivové nádrže musí mít plnicí hrdlo:

- o průměru alespoň 38 mm
- o alespoň 125 mm vertikálně vysoké
- šikmé maximálně 45 stupňů od vertikály

Vertikální výška 125 mm musí být nad úrovní vrcholu nádrže a musí být doprovázena průhlednou palivu odolnou měřicí trubicou pro čtení hladiny paliva. Měřicí trubka musí mít vertikální výšku aspoň 75 mm a minimální vnitřní průměr 6 mm a nesmí procházet pod povrchem vrcholu palivové nádrže. Může se použít průhledná plnicí trubka (clear filler tube), ale ta je podrobena schválení pravidlovou komisí (Rules Committee) nebo technickými inspektory závodu.

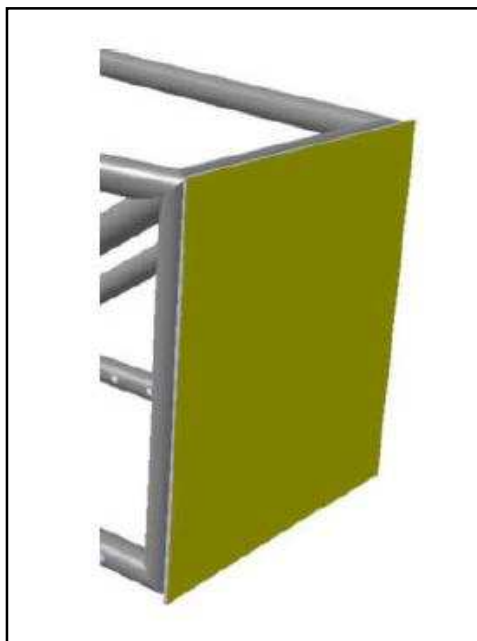
Umístění palivové nádrže není v pravidlech soutěže Formula Student jakýmkoliv způsobem zmíněno, avšak tato otázka bývá jedním z problémů při konstrukci vozu. Tato část pravidel o problematice palivových nádrží je k nalezení na [14].

Bohužel se mi k této problematice nepodařilo získat žádné bližší informace.

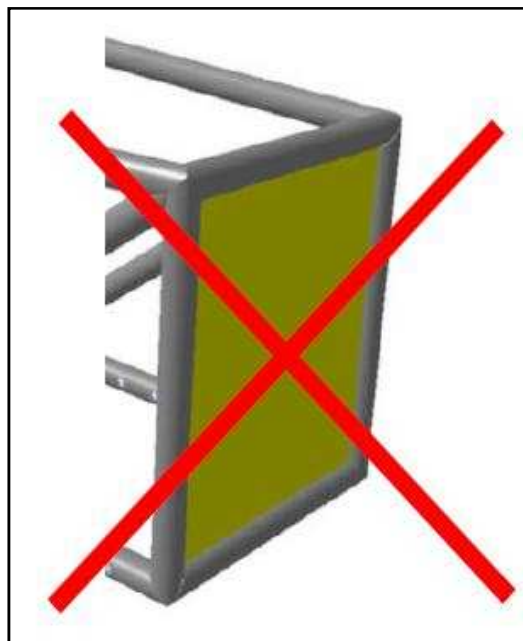
4.4 Deformační člen

Úkolem deformačního členu je pohlčení energie uvolněné při nárazu vozu do překážky.

Deformační člen musí být namontován v přední části vozidla za přepážkou, která ho odděluje od pedálů umístěných v kokpitu, tak jak můžeme vidět z Obr.4.4.1. a Obr.4.4.2.



Obr 4.4.1 Správné umístění přepážky pro deformační člen [8].



Obr 4.4.2 Špatné umístění přepážky pro deformační člen [8].

Deformační člen nesmí být spojen s vozidlem tak, že by byl součástí rámu vozu. Připojení deformačního členu musí být zkonstruováno tak, aby poskytovalo adekvátní zátěžovou cestu pro příčná a svislá zatížení, v případě výstředných a mimoosových nárazů.

Deformační člen musí být minimálně 150mm dlouhý, 200mm široký a 100mm vysoký.

Podle pravidel soutěže Formula Student musí být schopen zastavit vůz jedoucí rychlostí 7m/s o hmotnosti 300kg při nárazu do nepoddajné bariéry tak, aby průměrné zpomalení vozidla nepřesáhlo 20g.

V soutěži jsou obecně nejpožívanější 2 typy deformačního členu:

- deformační člen s pěnovou náplní
- plastový deformační člen

4.4.1 Deformační člen s pěnovou náplní

Velmi užitečné informace o tomto typu deformačních členů jsou k nalezení ve studii Holandského týmu Racing Team Eindhoven [9].

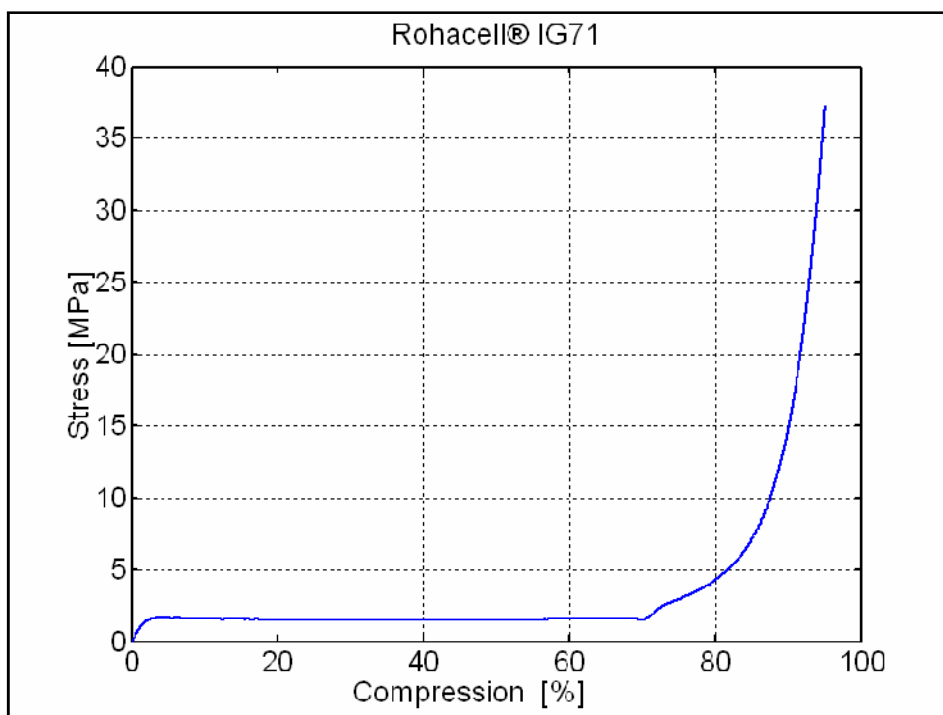
Tyto deformační členy se vyrábějí převážně z organických tvrzených hmot. Při výběru materiálu se nejčastěji objevují tyto materiály:

- Airex R63
- Divinycell h100
- Aluminium 7,8%
- Rohacell

Z výše uvedených materiálů vychází nejlépe v poměru cena/mechanické vlastnosti, materiál Rohacell.

Rohacell

Rohacell je polymethacrylimidová (PMI) tvrzená pěna. Při stlačování vykazuje velmi dobré napětově-deformační charakteristiky. Napětí je v průběhu komprese konstantní až do hranice 75% stlačení, jak je možno vidět na Obr.4.4.3. To z tohoto materiálu dělá materiál vhodný pro tlumení nárazů, kde můžeme velmi snadno spočítat přetížení při nárazu. Dále pak stlačení toho materiálu závisí na jeho hustotě.



Obr 4.4.3 Závislost napětí na stlačení pro materiál Rohacell IG71[10].

Níže uvedená tabulka Tab. 4.4.4 ukazuje hodnoty pevnosti v tlaku, stlačitelnosti a hustoty jednotlivých typů materiálu Rohacell

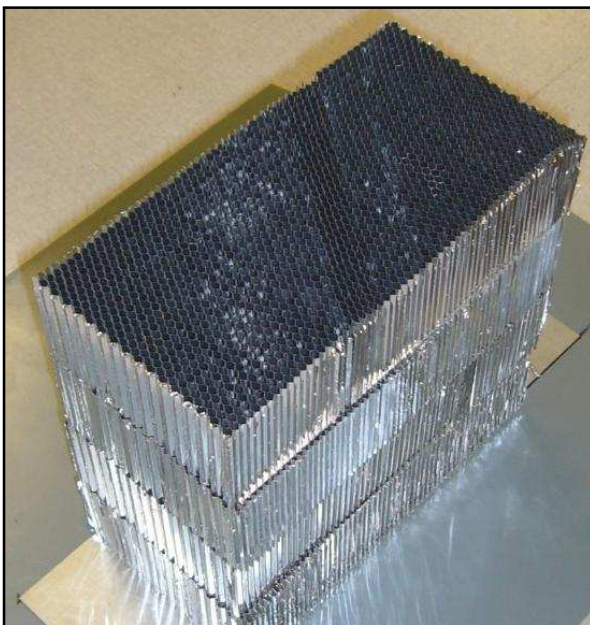
ROHACELL	Compression strength	Max compression	Density
IG31	0.25 MPa	73%	32 Kg/m ³
IG51	1.00 MPa	72%	52 Kg/m ³
IG71	1.50 MPa	72%	75 Kg/m ³
IG110	±2.7 MPa	70%	110 Kg/m ³

Tab. 4.4.4 charakteristiky materiálu Rohacell[10].

Na obrázku Obr.4.4.5 je možné vidět fotografii pořízenou při crashtestu deformačního členu z tohoto materiálu



Obr 4.4.5 Crashtest
deformačního členu z materiálu
Rohacell IG71[10].



Obr 4.4.6 Plástvový deformační člen[11].

4.4.2 Plástvový deformační člen

Profil tohoto deformačního členu se skládá z malých polygonů a připomíná tvarem včelí plástev Obr.4.4.6. Je to nejpoužívanější typ deformačního členu ve Formuli Student.

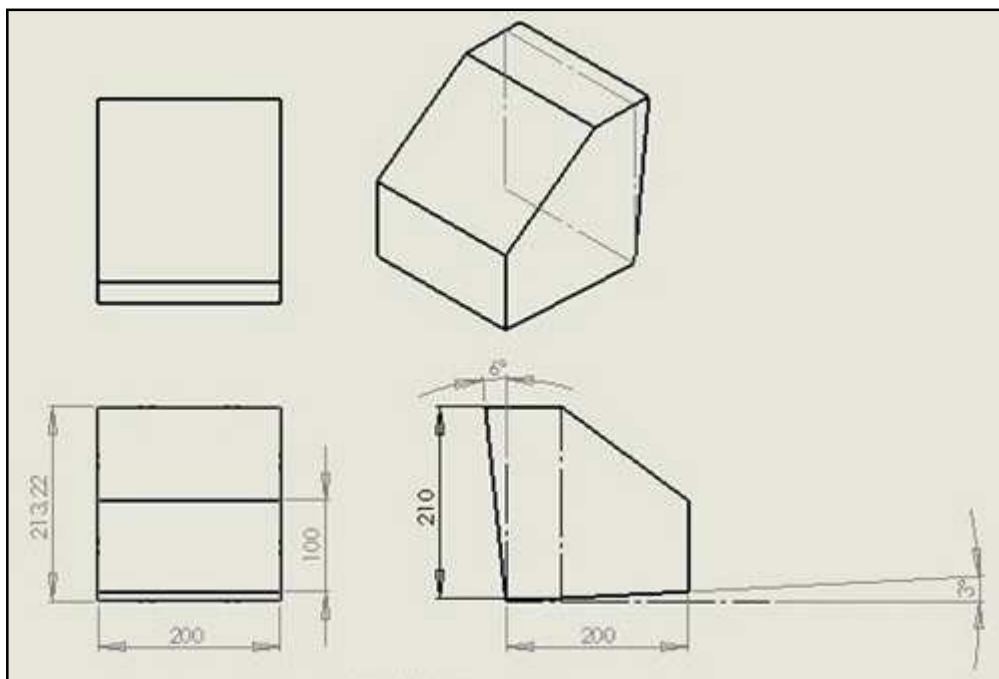
Tyto deformační členy jsou nejčastěji vyráběny z hliníku, ale mohou se vyskytovat i deformační členy z uhlíkových vláken Obr.4.4.7. Dále se vyskytují i několikavrstvé deformační členy, které mohou, a nebo nemusí být odděleny ocelovými deskami.

Napěťově-deformační charakteristiky pak záleží na hustotě polygonové sítě v deformačním členu. Hustotu sítě a tvar deformačního členu si volí každý tým sám podle váhy vozu.



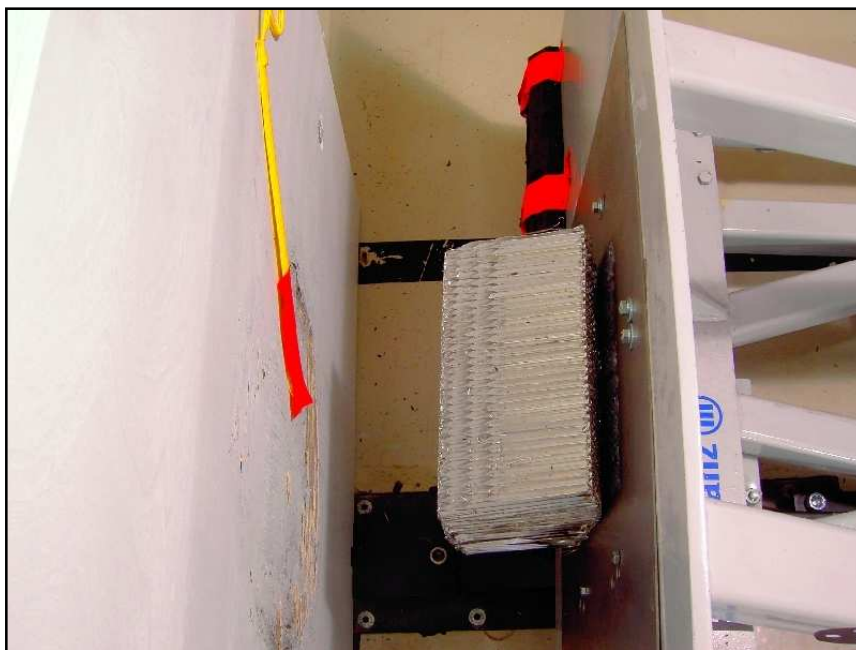
Obr 4.4.7 Plástvový deformační člen z uhlíkových vláken [11].

Na Obr.4.4.8 je možno vidět návrh deformačního členu týmu Etseib Motorsport. Deformační člen je vyroben z hliníku o hustotě $86,2\text{kg/m}^3$. Tento deformační člen by měl být schopen pohltit energii 7350 kJ .



Obr 4.4.8 Návrh hliníkového plástvového deformačního členu [12].

Všechny týmy jsou před začátkem závodů povinny předložit data, která potvrzují správnou funkčnost deformačního členu. Data mohou mít podobu simulace provedené na počítači nebo reálně provedeného crashtestu. Na Obr.4.4.9 pak lze vidět ukázkou crashtestu deformačního členu a na obrázku Obr.4.4.10 je zachyceno maximální stlačení deformačního členu.



Obr 4.4.9 Crashtest hliníkového plástvového deformačního členu provedený týmem Fast Forest [13].



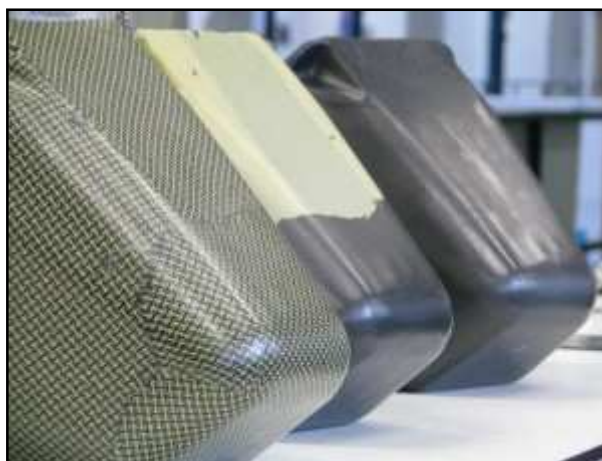
Obr 4.4.10 Maximální stlačení hliníkového plástvového deformačního členu provedený týmem Tauracing [11].

Podle pravidel soutěže Formula Student musí být deformační člen ukryt pod přední maskou vozu, která se také nazývá „crash nose“ a je částí karoserie vozu.

Crash nose bývá často vyroben z těchto 3 materiálů, aby mohl co nejlépe pohltit část energie uvolněné při nárazu

- carbon
- carbon pokryt Twaron® aramidem
- hybridní carbon-Twaron® aramidové vlákno

Ukázku této části karoserie je možno vidět na Obr.4.4.11.



Obr 4.4.11 Ukázka crash nose týmu DUT Racing Team [3].

Velmi užitečné informace o plástvových deformačních členech jsou k nalezení na [11] [12] [13].

5. SIMULACE ČINNOSTI BRZDOVÉ SOUSTAVY POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU AMESIM

Přestože v zadání práce nebyla žádná podobná simulace vyžadována, rozhodl jsem se provést simulaci činnosti brzdového systému námi připravované formule. Tato simulace byla provedena v simulačním programu AMESim.

Program AMESim (Advanced Modeling Environment for performing Simulations of engineering systems)

Program AMESim je simulační software pomocí kterého můžeme vytvořit model námi zkoumaného prostředí nebo systému a na tomto modelu následně provádět simulace jeho chování.

K vytváření modelu program využívá systému knihoven prvků. Knihoven má program k dispozici celou řadu. Je to například knihovna mechanických součástí, knihovna hydraulických prvků, pneumatických prvků, atd. Každá knihovna obsahuje velké množství prvků, které jsou znázorněny dvěma způsoby.

a) je to pomocí standardních symbolů jak jsou třeba ISO značky pro hydraulické a pneumatické systémy

b) pokud standardní značky neexistují můžeme vytvořit značky vlastní.

Simulaci systému můžeme zahájit až po zadání vstupních parametrů. Výsledkem takto získané simulace může být graf závislosti jedné veličiny na druhé nebo datový soubor.

5.1 Vstupní hodnoty modelu

Vstupní hodnoty pro vytvářený model byly následující:

$M_{Bp} = 605 \text{ Nm}$	- Brzdný moment
$r_d = 0.264 \text{ m}$	- Dynamicý poloměr kola
$p = 3 \text{ MPa}$	- Hydraulický tlak v brzdě soustavě
$d_{pz} = 35,1 \text{ mm}$	- Průměr pístků na zadní nápravě
$d_{pp} = 35,1 \text{ mm}$	- Průměr pístků na přední nápravě
$d_{HBVp} = 15,8 \text{ mm}$	- Průměr předního hlavního brzdového válce (HBV)
$d_{HBVz} = d_{HBVp}$	- Průměr zadního hlavního brzdového válce (HBV)
$F_{HBV} = 588,2 \text{ N}$	- Síla působící na HBV

Okruh byl zatěžován následovně:

- 2 vteřiny brzdění
- 4 vteřiny prodleva
- 2 vteřiny brzdění

5.2 Sestavený simulační model

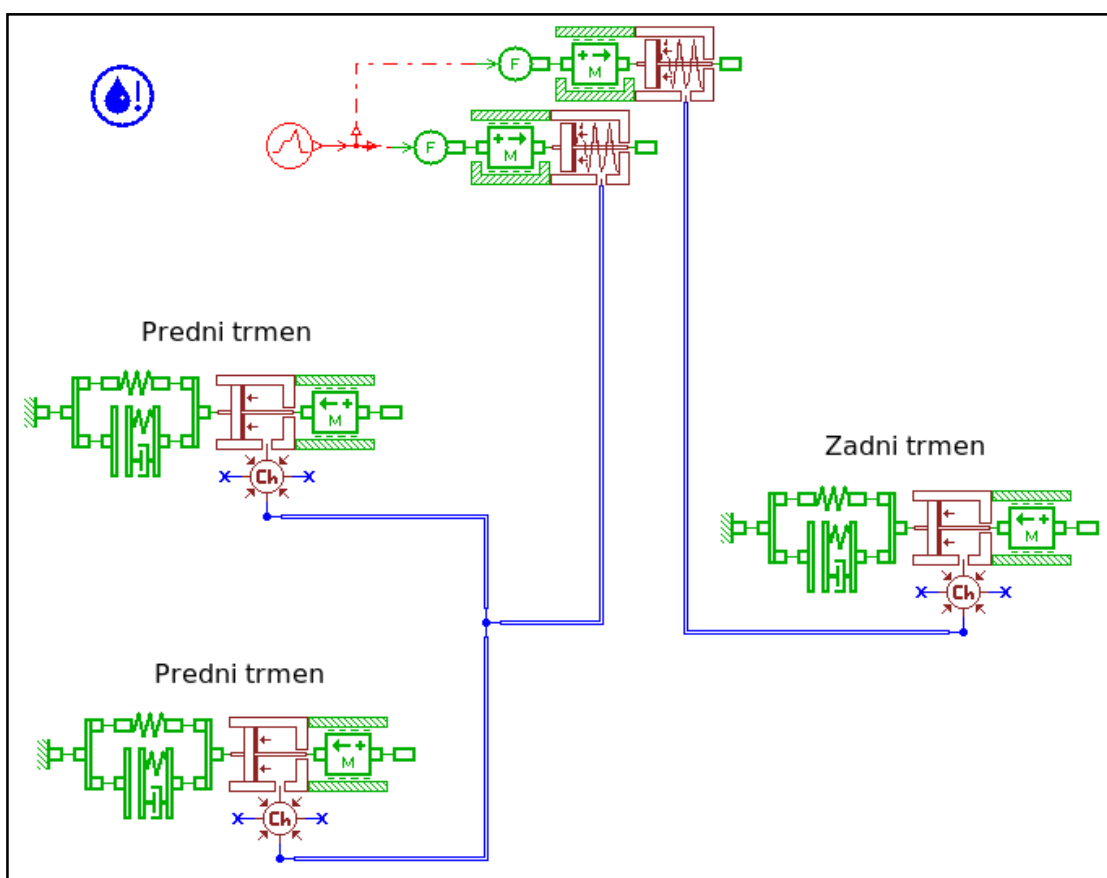
Brzdná soustava

Zkoumaná brzdová soustava používá dva samostatné brzdě okruhy dle pravidel soutěže Formula Student. Skládá ze 2 kotoučů, které jsou umístěny na přední nápravě a jednoho, který bude brzdit nápravu zadní. Brzdný posilovač byl odstraněn.

Sestavování modelu

S pomocí prvků, v již výše zmíněných knihovnách, byl složen model daného systému. Dále byly nastaveny parametry jednotlivých prvků. Model je sestaven s prvků hydraulických mechanických a silových. Podle nastavených parametrů se pak prvky budou chovat, to například znamená, že na daný prvek může působit tření a nebo naopak bude prvek bez odporu, apod. Po zvolení prvků a nastavení základních parametrů můžeme program nechat zkontrolovat náš model a poté spustit simulaci.

Na Obr.5.1.1 je možno vidět vytvořený simulační mode brzdového okruhu tak jak je zobrazen v programu AMESim.



Obr 5.1.1 Schéma brzdového okruhu.

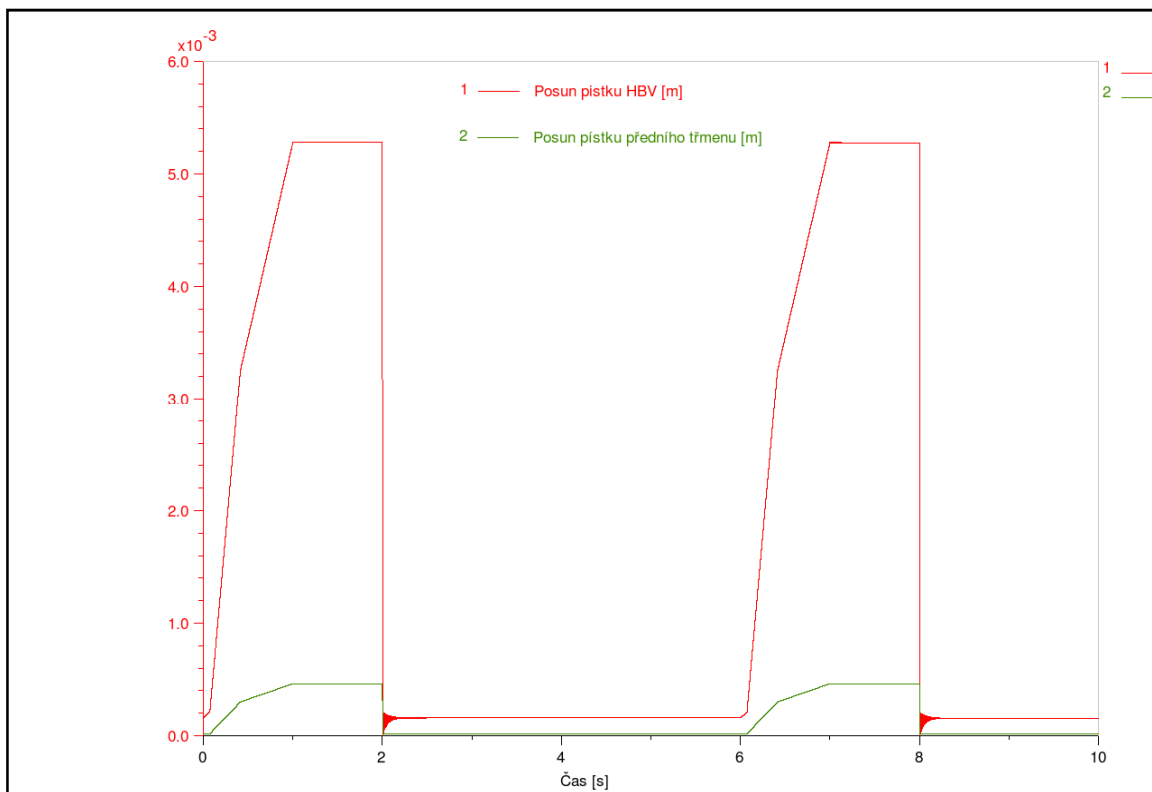
5.3 Výsledky simulace

V grafu 5.1.2 můžeme vidět rozdíl velikosti brzdných sil na kterou má vliv vratná pružina v HBV. Pokud by zde tato pružina nebyla je z výše uvedeného grafu zřejmé že brzdná síla bude větší než brzdná síla s pružinou v HBV. To je dáno tím, že na počátku brzdění by nemusel být překonán odpor který za normálního stavu pružina klade.

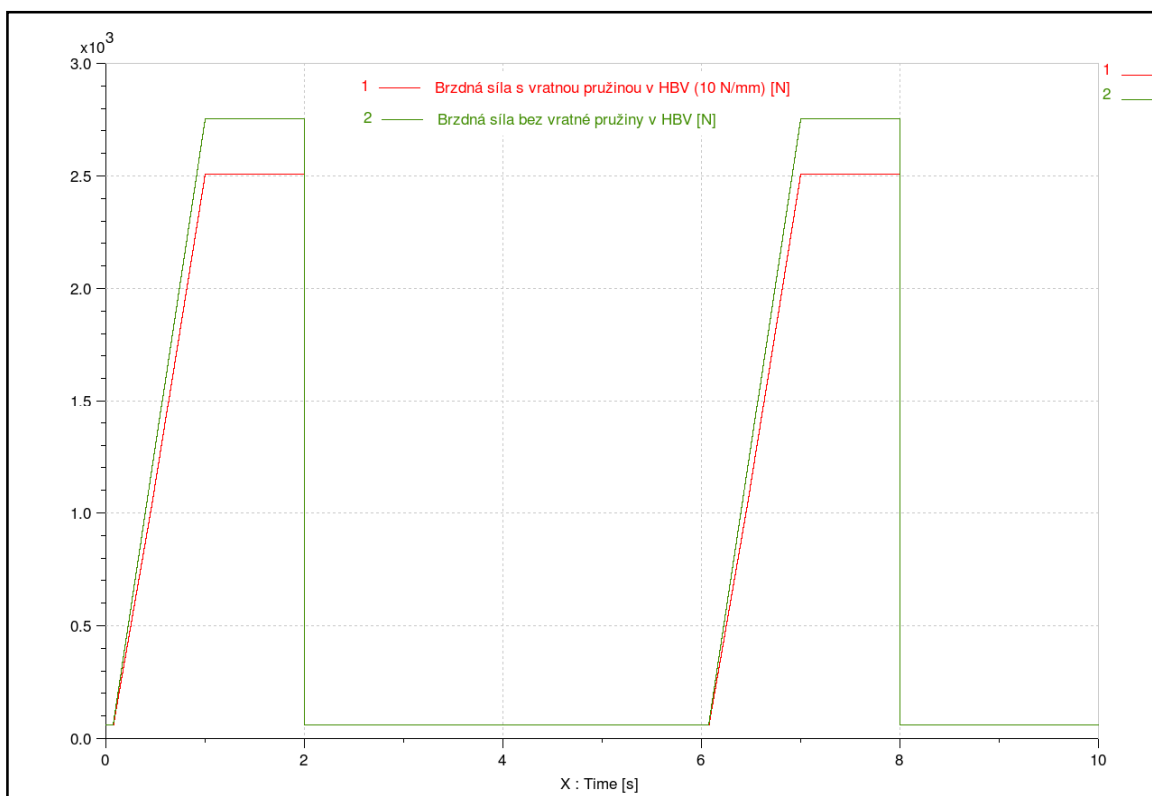
V grafu 5.1.3 můžeme vidět rozdíl mezi posunem pístku v HBV a pístku v předním brzdovém třmenu. Průměr pístku v předním brzdovém třmenu je přibližně 2 krát větší než průměr HBV, proto je jeho posun o mnoho menší.

V grafu 5.1.4 můžeme vidět rozdíl mezi posunem pístku v HBV a pístku, tentokrát v zadním brzdovém třmenu. Zde platí to samé jako u třmenu předního.

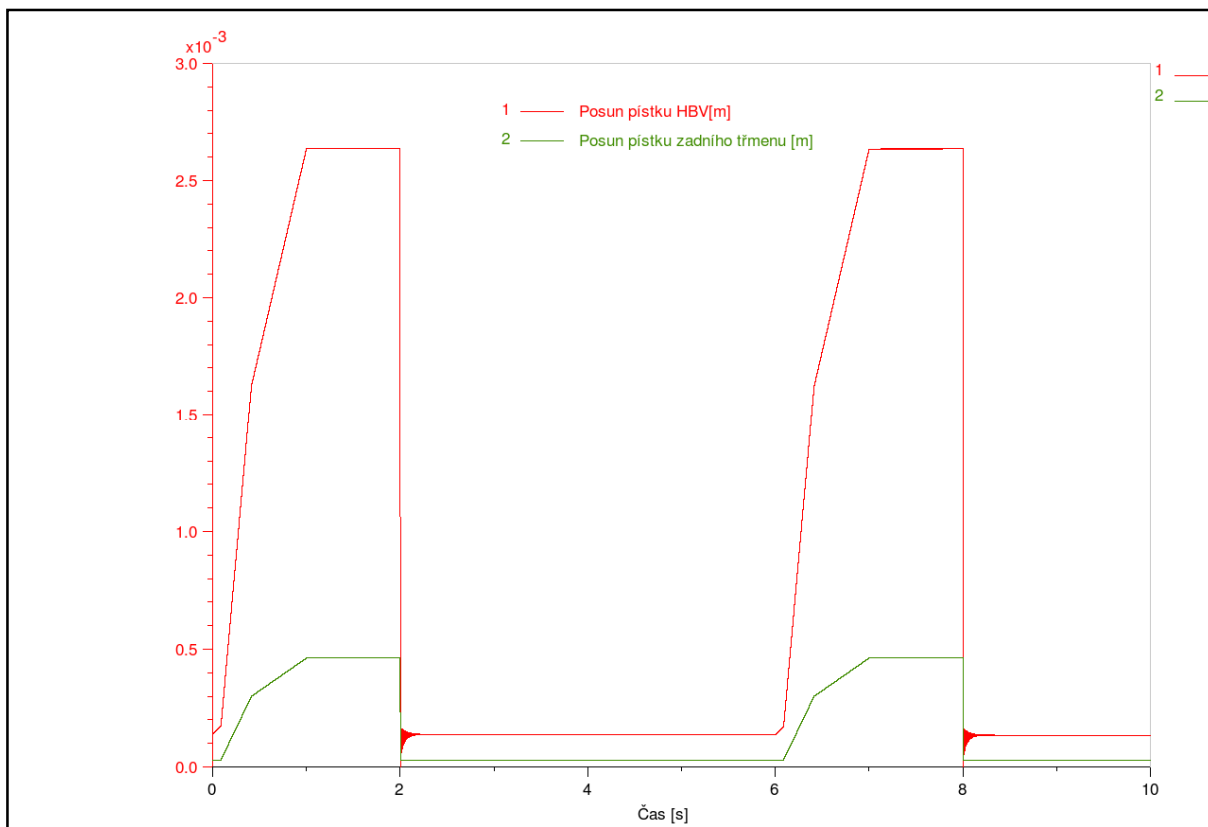
Graf.5.1.5 pak ukazuje o kolik naroste brzdná síla oproti počáteční síle ovládací.



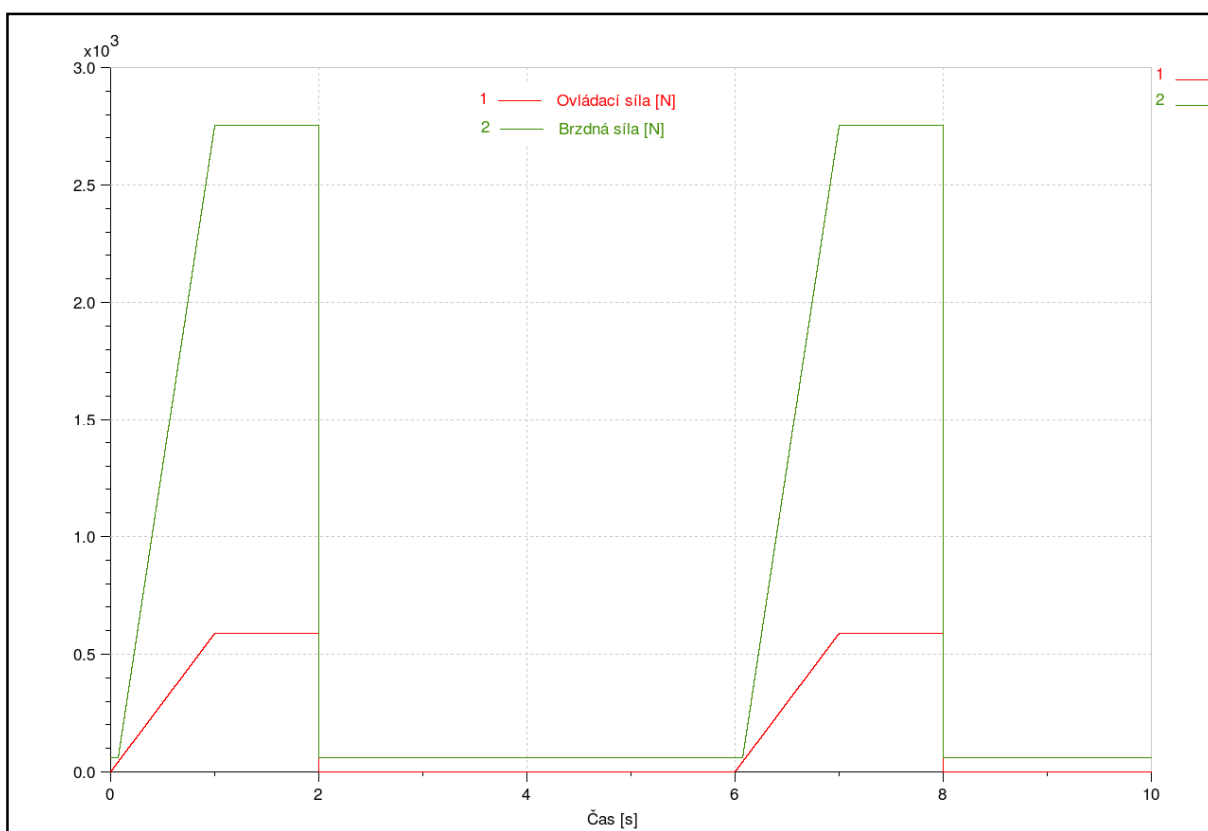
Graf 5.1.3 Graf závislosti posunu pístku v HBV a pístku v předním třmení na čase.



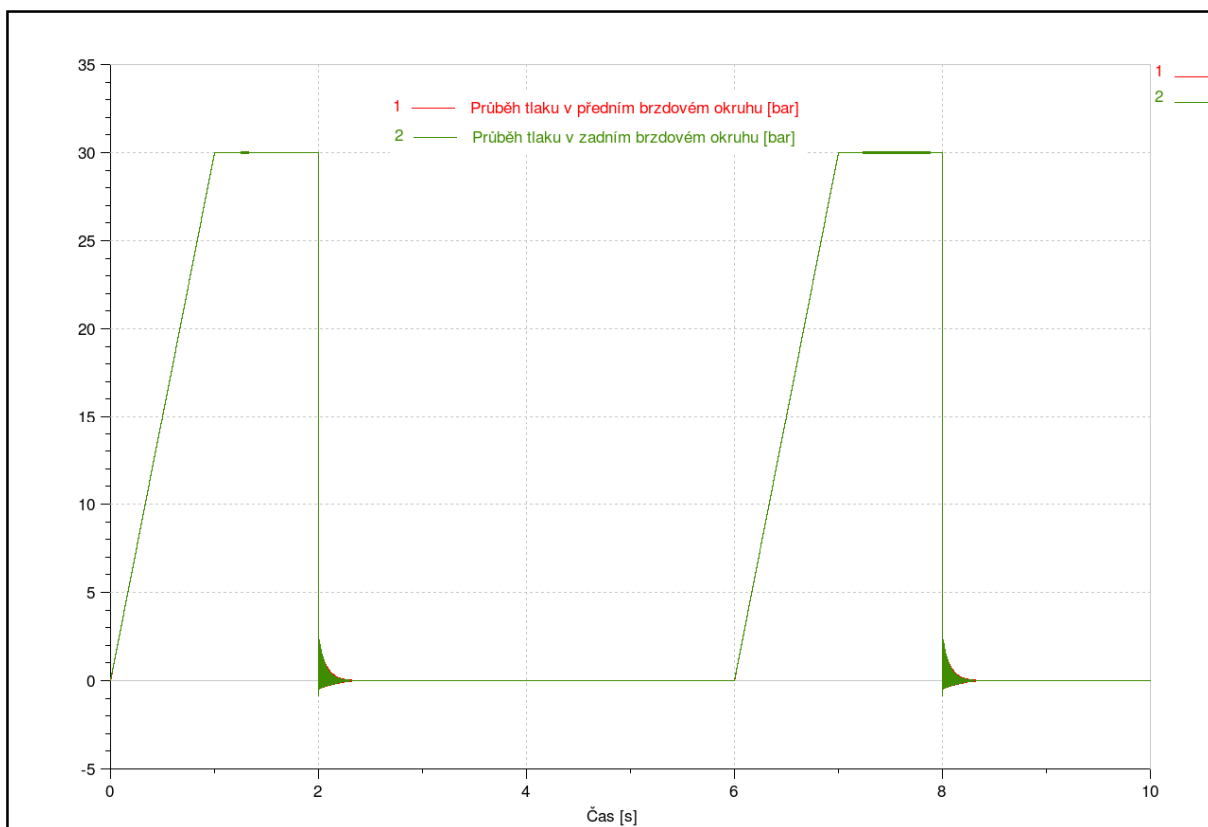
Graf 5.1.2 Graf závislosti brzdné síly na čase.



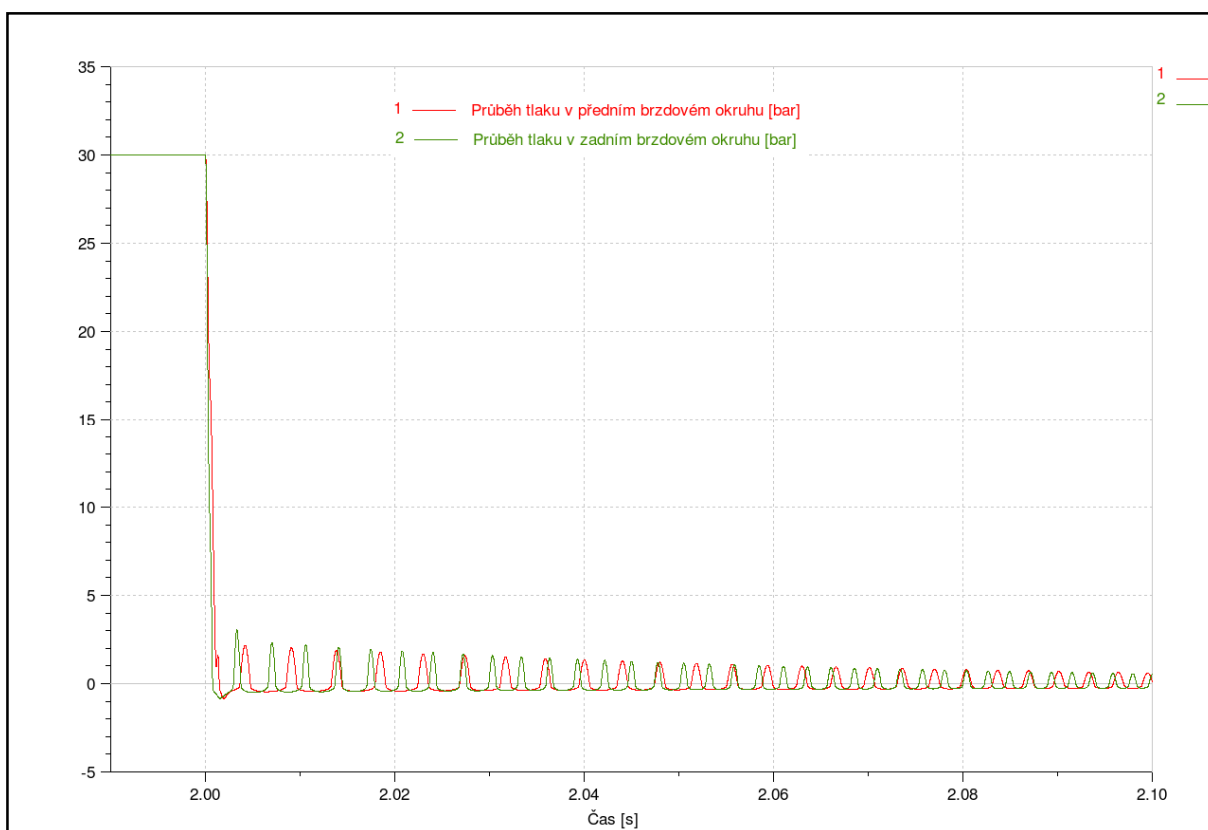
Graf 5.1.4 Graf závislosti posunu pístku v HBV a pístku v zadním třmení na čase.



Graf 5.1.5 Graf závislosti ovládací a brzdné síly na čase.



Graf 5.1.6 Graf popisující průběhy tlaků v obou brzdových okruzích.



Obr 5.1.7 Zvětšená část grafu z obrázku Obr 5.1.6

Z grafu 5.1.6 pak můžeme pozorovat průběhy tlaků v přední a zadním brzdovém okruhu a jelikož jsou velikosti průměrů HBV a pístků v obou třmenech stejné, průběhy tlaků se překrývají.

V grafu 5.1.7 je pak zvětšená část grafu 5.1.6. Je to úsek kdy dochází k odbrzdění a lze zde vidět ustálení tlakového rázu v obou brzdných okruzích.

Simulační program AMEsim toho umí ale daleko víc. Toto je jen zlomek z široké škály možností využití tohoto programu. Popsat práci v tomto programu a jeho možnosti by vyžadovalo minimálně na další bakalářskou práci.

6. ZÁVĚR

Velkou část této bakalářské práce tvoří přehled konstrukčních provedení vozů a jednotlivých konstrukčních skupin úspěšných týmů minulé sezóny. V konstrukčních provedeních vozů soutěže Formula Student dnes převažují tato konstrukční řešení.

V oblasti výběru pohonných jednotek dnes týmy nejčastěji volí 4-válcové benzinové motory s obsahem 600 kubických centimetrů, které jsou původem ze silničních motocyklů značky Honda nebo Yamaha, výjimečně pak Suzuki. Ovšem díky posledním novinkám v soutěži, které se týkají stále větších nároků na množství vypouštěných emisí, začínají být velmi oblíbené 1-válcové přeplňované motory. Asi jednou z největších otázek pro týmy konstruktérů studentských formulí je volba rámu vozu. Zde jsou 2 koncepce, které jsou nejčastěji využívány. Ještě stále častěji používanou variantou jsou dnes trubkové svařované rámy, které jsou levnější, ovšem mají menší torzní tuhost než rámy monokokové. Ty jsou vyráběny z uhlíkových vláken v několika různých provedeních. Mají mnohem větší torzní tuhost jsou lehčí a bezpečnější než rámy trubkové. V jejich neprospěch ovšem hovoří jejich poměrně vysoká cena.

Pneumatiky volí většina týmů stejné a to značky Hossier, jsou obouvány na 13 palcové ráfky. V poslední době ovšem začínají být silnou konkurencí této značky pneumatiky GoodYear.

Nejčastěji používaným chladicím systémem je pak varianta s jedním chladičem a větrákem umístěným na jedné straně, který je řízen termostatem.

Výfukový systém si pak většinou každý tým navrhuje sám, podle toho jaké má uspořádání komponent ve voze.

Co se týká elektroniky, řadičeho systému a spojky, tak tyto komponenty jsou většinou navrhovány studenty university. V této oblasti je veliký prostor na nové koncepce a inovativní řešení, které pak mohou znamenat kladné body pro celý tým.

Karoserie vozidel jsou v dnešní době buď laminátové, ale stále častěji se začínají objevovat karoserie z uhlíkových kompozitů. Ty jsou lehčí odolnější vůči deformaci ale také mnohem dražší.

Většina vozů je pak opatřena hliníkovými plástvovými deformačními členy, které splňují bezpečnostní požadavky soutěže Formula Student.

Každým rokem se soutěž Formula Student vyvíjí a technická vyspělost účastníků se týmů roste. Do vozu jsou instalovány technologie, které ještě před 5ti lety byly výsadou např: vozů F1 nebo rallyeových speciálů skupiny WRC.

Zásadní roli u pokročilých technických řešení pak hrají převážně kompozitní materiály na bázi uhlíkových vláken. Tyto materiály díky své nízké hmotnosti, pevnosti a dalším mechanickým vlastnostem začínají být stále používanějšími. Jedinou věcí, která jim brání v masovém rozšíření je jejich poměrně vysoká cena. To,

ale vůbec neznamená, že vůz, který je nabitý nejmodernějšími technologiemi automaticky vyhrává. Porotci soutěže hodnotí převážně nápaditost, funkčnost a v neposlední řadě také cenu za kterou by bylo možno tento vůz pořídit.

Závěrem bych chtěl říci, že tato soutěž je dle mého názoru velikým přínosem pro celý automobilový průmysl, protože vychovává mladé talentované inženýry, kteří zde získávají cenné praktické zkušenosti, které mohou v budoucnu aplikovat ve svém zaměstnání.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

WWW STRÁNKY

- [1] SILVER STRIPE, RACING TEAM PILSEN [online]. 2009, [cit. 2009-04-10]. Dostupné z : <<http://www.racing.zcu.cz/fsae-formule-student/>>
- [2] JESSE, Dirk. RENNTEAM [online]. 2007-2009, [cit. 2009-04-12]. Dostupné z : <<http://www.rennteam-stuttgart.de>>
- [3] DUTRACING. DUTRACING [online]. 2009, [cit. 2009-04-12]. Dostupné z : <<http://www.dutracing.nl/>>
- [4] JOANNEUM-RACING. JOANNEUM RACING GRAZ [online]. 2004-2009, [cit. 2009-04-09]. Dostupné z : <<http://www.joanneum-racing.at/de/>>
- [5] TU GRAZ RACING TEAM. TUG RACING [online]. 2002-2009, [cit. 2009-04-15]. Dostupné z : <<http://www.racing.tugraz.at>>
- [6] METROPOLIA MOTORSPORT. METROPOLIA TEAM [online]. 2009, [cit. 2009-04-15]. Dostupné z : <<http://www.metropolia-motorsport.fi/>>
- [7] JESSE, Dirk. HAWKS RACING HAMBURG [online]. 2005-2006, [cit. 2009-04-03]. Dostupné z : <<http://www.hawksracing.de/>>
- [8] LIONS RACING. LIONS RACING [online]. 2009, [cit. 2009-04-09]. Dostupné z : <<http://www.lionsracing.de/>>
- [9] UNIVERSITY RACING EINDHOVEN. URE TEAM [online]. 2008-2009, [cit. 2009-04-09]. Dostupné z : <<http://www.formulastudent.nl/>>
- [10] WITTEMAN, Ir. FONTEYN, M.T.J. Crash Safety. Eindhoven: FORMULA STUDENT RACING TEAM EINDHOVEN, 2006. Dostupné z : <<http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/6589.pdf> >
- [11] T-RACING. TAU RACING [online]. 2009, [cit. 2009-04-13]. Dostupné z : <<http://www.tauracing.com>>
- [12] ETSEIB MOTORSPORT. ETSEIB MOTORSPORT [online]. 2009, [cit. 2009-04-13]. Dostupné z : <<http://www.etseib-motorsport.upc.edu/>>
- [13] FAST-FOREST. FAST FOREST [online]. 2009, [cit. 2009-04-10]. Dostupné z : <<http://www.fast-forest.de/>>
- [14] SAE INTERNATIONAL. FSAE [online]. 2009, [cit. 2009-04-10]. Dostupné z : <<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2009fsaerules.pdf>>

- [15] REBELS RACING IT. REBELS RACING [online]. 2009, [cit. 2009-04-01]. Dostupné z : <<http://www.rebelsracing.cz/>>
- [16] CTU CARTECH. CTU CARTECH [online]. 2008, [cit. 2009-04-01]. Dostupné z : <<http://cartech.cvut.cz/>>
- [17] IMECH. FORMULA STUDENT [online]. 2009, [cit. 2009-04-01]. Dostupné z: <<http://www.formulastudent.com/>>
- [18] IMECH. FORMULA STUDENTGERMANY [online]. 2009, [cit. 2009-04-05]. Dostupné z: <http://www.formulastudent.de/uploads/media/FSG08_magazine_www.pdf >

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SYMBOLY

d_{HBVp}	Průměr předního hlavního brzdového válce (HBV)	[mm]
d_{HBVz}	Průměr zadního hlavního brzdového válce (HBV)	[mm]
d_{pp}	Průměr pístků na přední nápravě	[mm]
d_{pz}	Průměr pístků na zadní nápravě	[mm]
F_{HBV}	Síla působící na HBV	[N]
M_{Bp}	Brzdný moment	[Nm]
p	Hydraulický tlak v brzdě soustavě	[mm]
r_d	Dynamicý poloměr kola	[mm]

ZKRATKY

HBV Hlavní brzdový válec

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha1 – Tabulka shrnutí základních technických parametrů vozů